

О СВОЙСТВАХЪ  
МЕЛЧАЙШИХЪ ЧАСТИЦЪ МАТЕРІИ.

ЧИТАНО ВЪ ПУБЛИЧНОМЪ ЗАСѢДАНІИ ИМПЕРАТОРСКОЙ АКАДЕМІИ

НАУКЪ 29-го ДЕКАБРЯ 1895 Г.

АДЪЮНКТОМЪ КН. Б. ГОЛИЦЫНЫМЪ.

САНКТПЕТЕРБУРГЪ.

ТИПОГРАФІЯ ИМПЕРАТОРСКОЙ АКАДЕМІИ НАУКЪ.

Вас. Остр., 9 лпн., № 12.

1896.

№ 2377

Напечатано по распоряженію Императорской Академіи Наукъ.  
Февраль 1896 г.      Непремѣнный секретарь, Академикъ *Н. Дубровинъ*.

## О свойствахъ мельчайшихъ частицъ матеріи,

читано Адъюнктомъ Кн. Б. Голицынымъ въ публичномъ засѣданіи Императорской Академіи Наукъ 29-го Декабря 1895 г.

Ваши Императорскія Высочества,  
Ваше Высокопреосвященство,  
Милостивыя Государыни и Милостивые Государи!

Въ торжественномъ засѣданіи Императорской Академіи Наукъ 29-го Декабря 1893 года, т. е. ровно два года тому назадъ, бывшій директоръ Николаевской Пулковской Обсерваторіи, ординарный Академикъ *Θ. А. Бредихинъ*, имѣлъ честь дѣлать въ этой же залѣ сообщеніе о физическихъ перемѣнахъ въ небесныхъ тѣлахъ, въ тѣлахъ невообразимо громаднхъ размѣровъ, удаленныхъ отъ насъ на сотни, тысячи и болѣе миллионовъ километровъ. Изученіе какъ движеній этихъ громаднхъ тѣлъ въ пространствѣ, такъ и измѣненій въ ихъ строеніи, яркости, цвѣтѣ и пр., представляетъ собою одну изъ самыхъ любопытныхъ и увлекательныхъ задачъ современной астрономіи.

Но не объ этомъ мнѣ приходится сегодня съ вами бесѣдовать. Позвольте мнѣ пригласить васъ въ совершенно иную область и перенестись мысленно изъ междувѣзднаго пространства съ безчисленнымъ множествомъ движущихся въ немъ свѣтилъ, изъ этой области, такъ сказать, бесконечно-большихъ величинъ, въ область величинъ бесконечно-малыхъ, въ міръ мельчайшихъ частицъ вещества, въ міръ молекулъ. И здѣсь мы можемъ найти много любопытнаго для изученія, много достойнаго вниманія.

Оказывается, что и эти мельчайшія частицы матеріи на подобіе небесныхъ тѣлъ также находятся въ постоянныхъ движеніяхъ.

также испытываютъ разныя измѣненія, и изученій этихъ измѣненій и движеній, равно какъ и тѣхъ законовъ, которые ими управляютъ, составляетъ основную задачу молекулярной физики, задачу тѣмъ болѣе трудную, что здѣсь приходится имѣть дѣло съ міромъ невидимымъ, съ міромъ недоступнымъ никакимъ непосредственнымъ измѣреніямъ, но тѣмъ не менѣе съ міромъ вполне реальнымъ. Съ перваго взгляда можетъ показаться совершенно даже непонятнымъ, какъ можно изучать то, что по своей малости невозможно ни видѣть, ни осязать; однако человѣческій умъ сумѣлъ разными косвенными путями подойти къ рѣшенію вопроса и на основаніи разныхъ смѣлыхъ гипотезъ, оправдываемыхъ дѣйствительными наблюденіями, проникнуть въ этотъ невѣдомый, загадочный міръ мельчайшихъ частицъ матеріи и тѣмъ самымъ приподнять нѣсколько завѣсу надъ самыми сокровенными тайнами мірозданія.

Цѣль моего настоящаго сообщенія и заключается въ томъ, чтобы познакомить васъ въ краткомъ по возможности изложеніи съ новѣйшими успѣхами, достигнутыми въ означенномъ направленіи.

Современная физика учитъ насъ, что всякое вещество, въ какомъ бы оно агрегатномъ состояніи не находилось, состоитъ само изъ огромнаго числа мельчайшихъ частицъ, которымъ и присвоено названіе молекулъ даннаго вещества. Дѣля мысленно какое-нибудь тѣло на все болѣе и болѣе мелкія части, мы дойдемъ наконецъ до самихъ молекулъ, до этихъ послѣднихъ, недѣлимыхъ въ обыкновенномъ смыслѣ слова частицъ. Эта молекулярная теорія строенія вещества есть вмѣстѣ съ тѣмъ единственная теорія, которая способна дать простое и наглядное объясненіе цѣлой совокупности опытныхъ фактовъ, вслѣдствіе чего она и признается въ настоящее время за безспорную научную истину.

Чѣмъ меньше разстояніе между сосѣдними частицами тѣла, тѣмъ плотнѣе должно быть вещество, при чемъ различныя агрегатныя состоянія матеріи, какъ-то: состоянія твердое, жидкое, газообразное обуславливаются непосредственно величиной сред-

няго взаимнаго разстоянія между составляющими тѣло частицами. Свойства всякаго вещества зависятъ также непосредственно отъ свойствъ и особенностей его молекулъ. Всякое внѣшнее проявленіе матеріальнаго міра сопровождается непосредственно соответственными измѣненіями въ положеніяхъ и свойствахъ мельчайшихъ частицъ матеріи.

Такъ какъ по современнымъ воззрѣніямъ теплота есть только особый видъ движенія и именно движенія мельчайшихъ частицъ тѣла, то, если только данное вещество не находится при такъ называемомъ абсолютномъ нулѣ, молекулы его будутъ находиться въ постоянныхъ движеніяхъ. Траекторіи движеній частицъ могутъ быть при этомъ чрезвычайно разнообразны и сложны: частицы могутъ сталкиваться, вслѣдствіе вызываемыхъ при ударѣ упругихъ силъ снова расходиться, собираться въ отдѣльныя группы, обращаться одна около другой и т. п.

Видъ траекторій обуславливается также непосредственно и тѣми силами, которыя дѣйствуютъ между отдѣльными молекулами и которымъ присвоено общее названіе молекулярныхъ силъ. Чѣмъ плотнѣе вещество, чѣмъ скученнѣе частицы, тѣмъ чувствительнѣе будутъ взаимодействія между отдѣльными молекулами, тѣмъ сложнѣе будутъ ихъ движенія. Въ тѣлахъ же газообразныхъ эти мельчайшія частицы находятся по отношенію къ ихъ размѣрамъ въ сравнительно очень большихъ разстояніяхъ, тамъ молекулярныя силы имѣютъ наименьшее дѣйствіе, тамъ и характеръ движеній молекулъ долженъ быть наиболѣе простой.

Спрашивается теперь, какъ же разобраться въ этихъ сложныхъ явленіяхъ, какъ подмѣтить здѣсь какую-нибудь закономерность, когда число частицъ въ самыхъ небольшихъ объемахъ, какъ напр. въ объемѣ одного кубическаго сантиметра, измѣряется, какъ то показываютъ новѣйшія вычисленія, десятками триллионовъ (триллионъ равенъ миллиону въ кубѣ), да къ тому же непосредственно ничего не видно?!

Вопросъ, который мы себѣ такимъ образомъ ставимъ, представляется, какъ видно, необычайно сложнымъ . . . .; но будемъ идти послѣдовательно.

Разъ наука признала, что молекулы не представляют собою какую-нибудь фикцію человеческого ума, а что они, напротивъ, имѣютъ вполне реальное, объективное существованіе, зарождается тотчасъ же вопросъ: какими же онѣ обладаютъ свойствами, какія ихъ особенности?

Первое основное свойство всякой матеріи есть протяженность, каковое свойство можно положить даже въ основаніе опредѣленія самого понятія о матеріи. Спрашивается, слѣдовательно, какими размѣрами обладаютъ эти мельчайшія частицы вещества?

Конечно, здѣсь не можетъ быть и рѣчи о какомъ-нибудь точномъ опредѣленіи размѣровъ частицъ въ обыкновенномъ смыслѣ измѣренія какого-нибудь физическаго количества. Намъ важно знать не точные размѣры молекулъ, а лишь только, выражаясь языкомъ математики, *порядокъ* ихъ малости. Дѣйствительные размѣры этихъ мельчайшихъ частицъ матеріи на самомъ дѣлѣ столь малы, что нѣтъ никакой возможности ихъ непосредственно разглядѣть.

Отказавшись же отъ возможности увидѣть непосредственно молекулы, приходится искать разныхъ косвенныхъ путей для опредѣленія ихъ истинныхъ размѣровъ.

Такихъ путей нѣсколько. Одни основываются на разсмотрѣніи свойствъ газообразныхъ тѣлъ, другіе на нѣкоторыхъ электрическихъ и свѣтовыхъ явленіяхъ. Не моя цѣль входить въ описаніе этихъ различныхъ способовъ; это было бы чрезчуръ сложно и отвлекло бы насъ слишкомъ далеко отъ главной темы настоящаго сообщенія. Достаточно будетъ сказать, что почти всѣ различные способы опредѣленія размѣровъ молекулъ приводятъ къ одному и тому же общему результату, а именно, что размѣры молекулъ выражаются приблизительно нѣсколькими сто миллионными долями сантиметра, иначе говоря, на одномъ сантиметрѣ можно мысленно уложить рядомъ около ста миллионовъ отдѣльныхъ молекулъ.

И вотъ въ каждомъ тѣлѣ это, какъ мы видѣли раньше, огромное число мельчайшихъ частицъ находится въ постоянныхъ движеніяхъ. Каковы же эти движенія?

Обратимся для этого къ простѣйшему случаю, именно къ случаю газообразнаго состоянія вещества, когда среднее разстояніе между сосѣдними частицами очень велико въ сравненіи съ размѣрами самихъ молекулъ и гдѣ, слѣдовательно, какъ я уже имѣлъ случай замѣтить, возмущающее дѣйствіе молекулярныхъ силъ наименьшее.

Теорія газообразнаго состоянія вещества разработана въ настоящее время весьма обстоятельно и покоится, благодаря замѣчательнымъ трудамъ Clausius'a, J. Cl. Maxwell'a и многихъ другихъ, на весьма прочномъ фундаментѣ. Замѣтимъ здѣсь кстати, что первыя основанія этой такъ называемой кинетической теоріи газовъ были заложены знаменитымъ членомъ нашей Академіи Наукъ, жившимъ въ прошломъ вѣкѣ, именно Данииломъ Бернулли.

Чѣмъ же характеризуется газообразное состояніе вещества? Каково движеніе частицъ газа?

Въ виду значительнаго разстоянія между отдѣльными частицами, можно, въ первомъ приближеніи, пренебречь дѣйствіемъ молекулярныхъ силъ, и отвлекаясь, въ виду громадности скоростей движенія молекулъ, вліяніемъ силы тяжести, сказать, что движенія частицъ газа должны быть прямолинейныя съ постоянной скоростью. Однѣ частицы могутъ при этомъ двигаться скорѣе, другія — тише, но можно для простоты, слѣдуя приему Clausius'a, разсматривать дѣло такъ, какъ будто всѣ частицы движутся съ нѣкоторой общей, средней, скоростью. Чѣмъ больше теплоты содержится въ тѣлѣ, чѣмъ, слѣдовательно, выше температура, тѣмъ больше должна быть эта средняя скорость поступательнаго движенія. Теорія газовъ даетъ даже возможность непосредственно вычислить эти скорости; онѣ оказываются чрезвычайно большими и зависящими отъ свойствъ самого газа.

Такъ частицы кислорода движутся при 0° Ц. со скоростью 461 метра въ секунду, частицы же водорода со скоростью, достигающей до 1843 метровъ, т. е. почти со скоростью двухъ километровъ въ секунду.

Движенія частицъ газа направлены ко всѣмъ возможнымъ точкамъ пространства; всѣ направленія, такъ сказать, равноправны, и, если

только предоставить газъ самому себѣ, то онъ весь разсѣится въ пространствѣ. Это стремленіе всякаго газообразнаго тѣла къ разсѣиванію есть непосредственное слѣдствіе, вытекающее изъ факта свободнаго отъ вліянія всякихъ силъ движенія его мельчайшихъ частицъ.

Но что же произойдетъ, если мы воспрепятствуемъ газу свободно разсѣиваться въ пространствѣ, если мы его заключимъ въ какомъ-нибудь сосудѣ съ твердыми, непроницаемыми стѣнками?

Частицы газа, достигнувъ при своихъ прямолинейныхъ перемѣщеніяхъ до стѣнокъ заключающаго газъ сосуда и встрѣтивъ препятствіе къ своему дальнѣйшему распространенію, ударятся о встрѣченную преграду и отразятся назадъ. Каждый элементъ стѣнки будетъ такимъ образомъ испытывать рядъ толчковъ, рядъ ударовъ, и эта совокупность ударовъ представляетъ намъ не что иное, какъ то, что мы называемъ давленіемъ газа. Итакъ, давленіе всякаго газа обуславливается непосредственно ударами движущихся частицъ. Мы получаемъ такимъ образомъ ясное, наглядное, чисто-механическое представленіе о сущности давленія газообразныхъ тѣлъ. Чѣмъ выше температура, чѣмъ, слѣдовательно, больше поступательная скорость движенія частицъ, тѣмъ сильнѣе будутъ удары, тѣмъ значительнѣе должно быть и давленіе газа. Чѣмъ меньше объемъ газа, тѣмъ большее число частицъ приходится на каждый элементъ поверхности и тѣмъ чаще будутъ происходить удары, т. е. опять-таки тѣмъ больше будетъ давленіе. При этомъ можно строго математически показать, что, во сколько разъ уменьшится объемъ газа, во столько же разъ должно возрасти и его давленіе. Этотъ законъ, что давленіе газа обратно пропорціонально занимаемому имъ объему, носитъ названіе закона Маріотта, и мы видимъ такимъ образомъ, что этотъ опытнымъ путемъ установленный законъ есть простое и необходимое слѣдствіе факта свободнаго движенія мельчайшихъ частицъ газа.

Но не только такое сравнительно простое явленіе, какъ явленіе давленія газа, получаетъ на почвѣ кинетической теоріи такое простое физическое истолкованіе. Есть рядъ другихъ болѣе сложныхъ явленій, наблюдаемыхъ въ газообразныхъ тѣлахъ, ко-

торымъ кинетическая теорія также даетъ весьма простое освѣщеніе. Укажу на явленія тренія, диффузіи и теплопроводности, явленія довольно сложные, но которыя непосредственно обуславливаются движеніями мельчайшихъ частицъ газа. Въ разборъ этихъ явленій мнѣ здѣсь входить не приходится, замѣчу лишь только, что явленія тренія сопровождаются обмѣномъ между различными частями газа количествъ движенія, явленія диффузіи обмѣномъ матеріальныхъ массъ, явленія же теплопроводности обмѣномъ кинетической энергіи.

Изъ вышесказаннаго видно, что цѣлая группа самыхъ разнообразныхъ явленій, установленныхъ на прочной, незыблемой почвѣ путемъ непосредственныхъ наблюденій, выводится, какъ необходимое слѣдствіе кинетической теоріи газовъ, иначе говоря, вышесказанная теорія получаетъ блистательное опытное подтвержденіе.

Но изъ этого не слѣдуетъ однако предполагать, что кинетическая теорія газовъ завоевала себѣ подобающее ей мѣсто безъ борьбы. Противъ этой теоріи были воздвигаемы возраженія, и возраженія, кажущіяся съ перваго взгляда весьма даже существенными; но кинетическая теорія сумѣла ихъ всѣхъ устранить и основаться въ концѣ концовъ на прочномъ научномъ фундаментѣ. Въ этомъ-то и заключается сила всякой хорошей теоріи, которая умѣетъ торжествовать надъ дѣлаемыми ей возраженіями и пользоваться даже самими этими выраженіями, чтобы укрѣпиться на еще болѣе прочныхъ основахъ.

Такъ случилось, напримѣръ, въ астрономіи съ вопросомъ о всемірномъ тяготѣніи.

Когда въ движеніяхъ планеты Уранъ были замѣчены нѣкоторыя неправильности, то многіе могли невольно усумниться въ истинности самого закона тяготѣнія Ньютона, управляющаго движеніями небесныхъ тѣлъ. Другіе же разсуждали иначе. Законъ тяготѣнія долженъ быть вѣренъ, а потому, если въ движеніяхъ Урана и замѣчаются необъяснимыя неправильности, то эти неравенства должны непременно обуславливаться присутствіемъ на небѣ другого, невидимаго тѣла. На основаніи этихъ наблюдаемыхъ возмущеній можно было вычислить приблизительное мѣсто нахож-

денія этого ожидаемаго новаго тѣла, и дѣйствительно почти одновременно Леверье во Франціи и Адамсъ въ Англіи открыли въ солнечной системѣ присутствіе новой планеты Нептунъ, которая своей массой и производила наблюдаемыя возмущенія въ движеніяхъ Урана.

Вмѣсто того, чтобы пошатнуться, теорія тяготѣнія Ньютона получила только новое блистательное подтвержденіе; теорія предсказала необходимость присутствія на небѣ новаго тѣла, что непосредственными наблюденіями дѣйствительно и подтвердилось.

Съ теоріей газовъ случилось нѣчто подобное. Вотъ въ чемъ заключалось главное возраженіе.

Если частицы газообразныхъ тѣлъ движутся дѣйствительно съ такой необычайной скоростью, со скоростью нѣсколькихъ сотъ метровъ въ секунду, то спрашивается, почему же мы наблюдаемъ часто, что, напримѣръ, дымовое или какое-нибудь другое облако парить долго въ воздухѣ, вмѣсто того, чтобы почти мгновенно разсѣяться въ пространствѣ? Почему, напримѣръ, если мы откроемъ банку съ какимъ-нибудь сильно пахучимъ веществомъ на одномъ концѣ комнаты, мы чувствуемъ запахъ на другомъ только по истеченіи нѣкотораго промежутка времени, а не тотчасъ же, разъ что отдѣльныя частицы вещества движутся съ такими громадными скоростями? Эти возраженія могутъ показаться весьма серьезными, но этотъ парадоксъ разрѣшается на самомъ дѣлѣ чрезвычайно просто, и въ этомъ-то заключается важная заслуга Clausius'a и Maxwell'a, которые сумѣли разъяснить столь простымъ и изящнымъ образомъ возникшее недоразумѣніе и тѣмъ самымъ упрочить еще больше основанія кинетической теоріи.

Дѣйствительно, частицы газа движутся прямолинейно съ огромными скоростями, но однако только до тѣхъ поръ, пока онѣ въ своихъ движеніяхъ не встрѣтятъ какія-нибудь препятствія. Но какія это могутъ быть препятствія? Да просто встрѣча съ другими подобными же движущимися молекулами. Не трудно подсчитать, основываясь напр. на явленіяхъ диффузіи, что каждая частица газа при своихъ движеніяхъ встрѣчается съ подобными ей частицами тысячи милліоновъ разъ въ секунду. При каждой

встрѣчѣ молекула мѣняетъ направленіе своего движенія, вслѣдствіе чего и оказывается, что, несмотря на эти громадныя скорости движенія, молекулы въ дѣйствительности передвигаются въ пространствѣ чрезвычайно медленно. Грубый образецъ дѣйствительнаго характера движеній молекулъ газообразныхъ тѣлъ мы получимъ, если возьмемъ какой-нибудь ящикъ, содержащій горошины, и начнемъ его усиленно трясти.

Итакъ, скорости движенія молекулъ останутся по прежнему громадными, но здѣсь вводится новое понятіе о среднемъ пути, проходимомъ молекулой между двумя послѣдовательными ударами о сосѣднія частицы.

Наблюденія надъ треніемъ, или диффузіей, или теплопроводностью газовъ даютъ возможность опредѣлить этотъ средній путь молекулъ, а отсюда и число ударовъ въ секунду. Такимъ образомъ оказывается, что число ударовъ, приходящихся на одну водородную молекулу болѣе 9 милліардовъ въ секунду, на одну же молекулу кислорода болѣе 4-хъ милліардовъ. Мы видимъ такимъ образомъ, что, несмотря на то, что молекулы газовъ движутся съ такими громадными скоростями, выражающимися сотнями метровъ въ секунду и превышающими подчасъ скорости полета снарядовъ самыхъ дальнобойныхъ орудій, дѣйствительное перемѣщеніе молекулъ въ пространствѣ, по данному направленію, благодаря неимоверно большому числу встрѣчъ и ударовъ, происходитъ чрезвычайно медленно.

Разсмотримъ теперь, что на самомъ дѣлѣ должно происходить при встрѣчѣ различныхъ движущихся частицъ.

Здѣсь слѣдуетъ рассмотреть нѣсколько возможныхъ случаевъ.

Во-первыхъ, если молекулы движутся не прямо по направленію линіи, соединяющей ихъ центры, то онѣ могутъ, подойдя на достаточно близкое разстояніе, подѣ дѣйствіемъ молекулярныхъ силъ, измѣнить направленіе своего движенія, обогнуть другъ друга и затѣмъ снова разойтись, подобно тому, какъ комета, приближаясь къ солнцу, круто измѣняетъ направленіе своего движенія, огибаетъ солнце и снова удаляется въ невѣдомыя пространства, очень часто съ тѣмъ, чтобы болѣе никогда не вернуться. Такой

случай будетъ имѣть мѣсто, если скорости движенія молекулъ достаточно велики. При менѣе же значительныхъ скоростяхъ можетъ случиться совершенно другое. Молекулярныя силы, проявляющія все болѣе и болѣе сильное дѣйствіе по мѣрѣ приближенія частицъ, могутъ не дать имъ возможности снова разойтись; частицы обогнутъ другъ друга, но не разойдутся вновь, а начнутъ обращаться одна около другой, образуя такимъ образомъ нѣкоторую сложную систему. Вполнѣ аналогичный случай мы встрѣчаемъ и въ небесномъ пространствѣ. Мы знаемъ, что существуютъ кометы, которыя обращаются вокругъ солнца по замкнутымъ кривымъ; далѣе, существуютъ двойныя звѣзды, которыя также движутся одна вокругъ другой, при чемъ замѣтимъ, что изученіе послѣднихъ стало особенно доступнымъ въ послѣдніе годы, благодаря замѣчательнымъ успѣхамъ спектроскопії.

Такимъ образомъ въ мірѣ молекулъ мы имѣемъ какъ бы отпечатокъ небеснаго міра; и здѣсь можетъ быть своя „астрономія“, но только въ миниатюрѣ. Невольно поражаешься той гармоніей, которая царствуетъ во всей вселенной: какъ бесконечно-большія, такъ и бесконечно-малыя тѣла находятся въ постоянныхъ движеніяхъ, встрѣчаются, расходятся, обращаются одно около другаго и т. п. И для этого міра будетъ своя, такъ сказать, небесная механика, теорія орбитныхъ движеній и пр.

Съ перваго взгляда, приступая къ изученію молекулярнаго міра, намъ невольно могло показаться, что все это столь мало, столь ничтожно, столь маловажно, что не стоитъ даже нашего вниманія. Теперь же открываются предъ нами совершенно новые горизонты, мы становимся на иную точку зрѣнія, и намъ остается только любоваться и восхищаться красотой и единствомъ плана всей вселенной. И что въ самомъ дѣлѣ значитъ большое и малое въ нашихъ узкихъ, человѣческихъ понятіяхъ! Вѣдь эти представленія совершенно условныя, обусловливаемы конечностью нашихъ постигательныхъ способностей. Мы знаемъ, на примѣръ, что солнце удалено отъ насъ на 150 милліоновъ километровъ и считаемъ это разстояніе громаднымъ. Но это ничто въ сравненіи съ разсто-

яніемъ до нѣкоторыхъ звѣздъ, отъ которыхъ свѣтъ требуетъ для того, чтобы дойти до насъ сотни и тысячи лѣтъ, пробѣгая 300000 километровъ въ секунду. Мы говоримъ съ другой стороны, что молекулы очень малы; но малы онѣ только по отношенію къ намъ, по отношенію къ размѣрамъ нашего тѣла. Можетъ быть наши молекулы которыя мы считаемъ столь малыми, представляютъ собою, въ свою очередь, „небесныя тѣла“ для какого-нибудь другаго, еще болѣе мелкаго міра, равно какъ и наши небесныя тѣла суть только молекулы какого-нибудь новаго вещества, такъ сказать, высшаго порядка. Не надо, повторяю, забывать, что понятіе о большомъ и маломъ суть понятія совершенно условныя, и, имѣя это въ виду, изученіе даже самыхъ, видимо, маловажныхъ явленій пріобрѣтаетъ при надлежащемъ отношеніи къ дѣлу особенный интересъ.

Займствуя аналогію изъ математики, мы можемъ сказать, что весь нашъ видимый міръ, все наше міросозерцаніе представляетъ собою только одно звено, одинъ членъ безконечнаго, убывающаго и возрастающаго ряда, распространяющагося въ безконечность въ обѣ стороны, отъ величинъ бесконечно-малыхъ до величинъ бесконечно-большихъ.

Но если молекулы дѣйствительно обращаются одна около другой, образуя такъ называемые молекулярные комплексы, то спрашивается теперь, какъ же все это на самомъ дѣлѣ происходитъ, какія тутъ участвуютъ силы, какой характеръ этихъ движеній?

Силы, которыя удерживаютъ молекулы вмѣстѣ, суть силы сцѣпленія или такъ называемыя молекулярныя силы, о которыхъ я буду имѣть честь говорить нѣсколько далѣе. Вопросъ-же о томъ, какъ образуются молекулярные комплексы, что благоприятствуетъ ихъ образованію, какую роль они играютъ при объясненіи различныхъ физическихъ явленій, все это вопросы, на которые только въ сравнительно недавнее время обратили должное вниманіе.

Изученіе образованія молекулярныхъ группъ, т. е. изученіе явленія, извѣстнаго подъ общимъ названіемъ полимеризаціи, представляетъ весьма значительныя трудности въ виду малодоступ-

ности самихъ объектовъ изслѣдованія; но какъ физики, такъ и химики принялись теперь за дѣло энергично и можно ожидать, что въ ближайшемъ будущемъ будутъ открыты въ этой области интересные и важные законы. Въ всякомъ случаѣ можно думать, что какіе-нибудь новые и серьезные успѣхи по кинетической теоріи газовъ, а тѣмъ болѣе по кинетической теоріи жидкостей, возможны только на почвѣ болѣе тщательнаго изученія явленій полимеризаціи.

Явленіе, противоположное полимеризаціи, есть явленіе диссоціаціи, явленіе распада молекулярныхъ группъ. Самый важный факторъ, содѣйствующій распаденію молекулярныхъ комплексовъ, есть высокая температура; при этомъ замѣтимъ, что, чѣмъ выше температура, слѣдовательно, чѣмъ больше средняя скорость движенія молекулъ, тѣмъ неблагопріятнѣе условія для образованія новыхъ молекулярныхъ комплексовъ.

Отъ этихъ молекулярныхъ комплексовъ обратимся къ единичнымъ молекуламъ. Спрашивается, могутъ ли отдѣльныя молекулы диссоциировать? Могутъ ли онѣ распасть на какія-нибудь составныя части?

Отвѣтъ на этотъ вопросъ даетъ намъ химія. Оказывается, что молекулы сами состоятъ изъ нѣкотораго числа, въ большинствѣ случаевъ довольно небольшого, отдѣльныхъ болѣе мелкихъ частей, которымъ присвоено названіе атомовъ вещества и которыя слѣдуетъ признать совершенно уже недѣлимыми и считать, слѣдовательно, за первичное начало въ матеріи. Распаденіе молекулъ на атомы происходитъ, какъ извѣстно, при различныхъ химическихъ процессахъ, при чемъ атомы одной молекулы, комбинируясь съ атомами другой, образуютъ новыя тѣла. Но молекулы могутъ диссоциировать и подъ вліяніемъ чисто-физическихъ агентовъ. Такъ, весьма высокая температура, электрическій токъ могутъ вызвать диссоціацію молекулъ.

Послѣ этого небольшого отступленія вернемся къ занимающему насъ вопросу, именно къ тому, что происходитъ при встрѣчѣ движущихся частицъ матеріи. Мы уже рассмотрѣли случай, когда движеніе встрѣчающихся молекулъ не направлено по

линіи ихъ соединяющей и видѣли, что здѣсь представляются два возможныхъ случая: или 1), молекулы снова разойдутся, или 2), онѣ образуютъ нѣкоторый комплексъ.

Что же будетъ въ случаѣ такъ называемаго центрального удара, когда молекулы несутся прямо одна на другую? Что будетъ, когда молекулы ударяются, на примѣръ, о твердую оболочку, въ которую газъ заключенъ?

Здѣсь невольно приходитъ на умъ та мысль, что ударяющимся молекуламъ или, скажемъ лучше, атомамъ, такъ какъ въ концѣ концовъ ударъ приходится на самомъ дѣлѣ на долю послѣднихъ, слѣдуетъ приписать нѣкоторыя упругія свойства, иначе говоря, что, при весьма близкихъ разстояніяхъ соударяющихся частицъ, должны возбуждаться весьма интенсивныя отталкивательныя силы. Но какъ согласовать два такихъ видимо несовмѣстимыхъ качества, какъ недѣлимость и упругость? Мы можемъ легко представить себѣ свойство упругости въ обыкновенныхъ тѣлахъ, но какъ представить себѣ упругость недѣлимаго атома?

Казалось бы, что мы встрѣтились здѣсь съ такимъ принципиальнымъ затрудненіемъ, съ такимъ важнымъ препятствіемъ, съ которымъ нѣтъ никакой возможности справиться. Но не то на самомъ дѣлѣ оказалось. Sir W. Thomson'у, нынѣ Lord Kelvin'у, удалось-таки своей блестящей теоріей вихревыхъ атомовъ разрѣшить этотъ непонятный парадоксъ.

Теорія Томсона зиждется на результатахъ математическихъ изслѣдованій знаменитаго Гельмгольца надъ вихревыми движеніями въ совершенной жидкости, т. е. въ жидкости не имѣющей тренія, и въ частности на теоріи такъ называемыхъ вихревыхъ шнуровъ.

По Томсону, каждый атомъ матеріи представляетъ собою нѣкоторое замкнутое вихревое кольцо. Грубый образецъ такого кольца представляютъ намъ извѣстныя всѣмъ кольца табачнаго дыма.

По Томсону вся вселенная заполнена нѣкоторой одной и той же совершенной жидкостью; въ этой жидкости существуютъ замкнутые вихревые шнуры или вихревыя кольца, въ которыхъ движеніе жидкости совершается въ одномъ и томъ же направленіи



вокругъ оси кольца. Эти вихревыя кольца и суть не что иное, какъ атомы нашей матеріи. Различныя же особенности этихъ колець обуславливаютъ и различныя свойства химическихъ элементовъ.

Но замѣчательнѣе всего то, что можно строго математически показать, что, разъ такое вихревое кольцо существуетъ въ совершенной жидкости, его нельзя ни разрѣзать, ни раздѣлить, ни уничтожить; оно будетъ существовать вѣчно. Наоборотъ, нельзя въ совершенной жидкости создать новый замкнутый вихревой шнуръ.

Итакъ, мы видимъ, что замкнутые вихревые шнуры обладаютъ фундаментальнымъ свойствомъ атомовъ матеріи, а именно, что ихъ нельзя, не прибѣгая къ постороннему для темы нашей бесѣды акту творчества, ни создать, ни уничтожить; разъ они существуютъ, они будутъ существовать вѣчно.

И вотъ оказывается, что такое недѣлимое вихревое кольцо будетъ тѣмъ не менѣе обладать свойствами упругости. Если такое кольцо деформировать, то оно стремится принять первоначальную свою форму. Томсонъ построилъ даже нѣкоторымъ образомъ модель такого вихревого атома и показалъ, что его приборъ, хотя и составленный изъ неупругихъ частей, обладалъ, тѣмъ не менѣе, упругими свойствами, т. е. дѣйствовалъ, какъ настоящая пружина. Мы видимъ такимъ образомъ, что теорія вихревыхъ атомовъ дѣйствительно даетъ возможность совмѣщать такія видимо другъ друга исключаютія свойства, какъ недѣлимость и упругость.

Сдѣлаемъ еще одинъ шагъ дальше.

Thomson и Tait, Kirchhoff, Boltzmann показали въ рядѣ математическихъ работъ, что два такіе вихревые атома могутъ дѣйствовать другъ на друга, взаимно притягиваться, а это уже даетъ намъ какъ бы прямое указаніе на самое происхожденіе, на самую причину молекулярныхъ силъ.

Какъ не блестяща теорія вихревыхъ атомовъ Томсона и какъ не велики были надежды, которыя на нее возлагали, она однако довольно мало подвинулась впередъ, главнымъ образомъ, вѣроятно, потому, что трактованіе этого вопроса связано съ весьма значительными математическими трудностями.

Но посмотримъ теперь, нельзя ли какъ-нибудь иначе объяснить это удивительное свойство атомовъ, именно ихъ упругость? Нельзя ли въ чемъ-нибудь иномъ, чѣмъ въ вихревыхъ движеніяхъ совершенной жидкости, искать первичную причину молекулярныхъ взаимодействій?

Чтобы рѣшить этотъ вопросъ, обратимся къ опыту.

Спрашивается, нѣтъ ли какого-нибудь явленія, въ которомъ мельчайшія частицы матеріи хотъ нѣсколько обнаруживали бы свои особенности, открывали бы присущія имъ свойства?

На наше счастье такое явленіе существуетъ, именно то явленіе, которое служить основаніемъ цѣлой новой и въ высшей степени плодотворной отрасли физики; вы можете быть уже догадываетесь, что рѣчь идетъ о спектральномъ анализѣ. Этотъ анализъ даетъ намъ средство заглянуть въ самыя глубокія тайны природы и подмѣтить такія качества и особенности мельчайшихъ частицъ матеріи, которыя совершенно недоступны всякимъ другимъ приемамъ изслѣдованія. Несмотря на тѣ поразительные результаты, которые были достигнуты спектральнымъ анализомъ въ теченіе его 35—36 лѣтняго существованія, можно все-таки утверждать, что этотъ анализъ представляетъ собою еще науку будущаго, такъ велики надежды, которыя можно на эту науку возлагать, такъ много еще можно отъ нея въ будущемъ ожидать. Спектральный анализъ — это ключъ къ вратамъ молекулярнаго міра.

Дѣйствительно, всякое газообразное вещество, приведенное въ состояніе свѣченія, даетъ въ спектрѣ начало вполне опредѣленнымъ характернымъ линіямъ. Эти линіи зависятъ непосредственно отъ состава вещества, и на этомъ принципѣ основанъ, какъ извѣстно, самый тонкій и чувствительный методъ качественного химическаго анализа. Спектральныя линіи являются какъ бы представителями цѣлой группы одинаковыхъ молекулъ, и по этимъ линіямъ легче и проще всего изучать свойства этихъ мельчайшихъ частицъ матеріи. Здѣсь мы имѣемъ нѣчто видимое, наглядное, вполне доступное непосредственнымъ наблюденіямъ.

Спектральныя линіи берутъ свое начало отъ тѣхъ специфическихъ колебаній, которыя присущи данному роду молекулъ; каж-

дому химическому элементу соответствуют и свои особые световые колебания.

По новейшимъ воззрѣніямъ, основаніе которымъ было положено знаменитыми англійскими физиками Faraday'емъ и Maxwell'емъ, воззрѣніямъ столь блестящимъ образомъ оправдавшимся цѣлымъ рядомъ экспериментальныхъ изслѣдованій столь безвременно скончавшагося Гертца, световыя колебанія вполне тождественны съ колебаніями, съ періодическими измѣненіями въ такъ называемомъ электромагнитномъ полѣ силъ, каковыя измѣненія обуславливаются колебаніями электричества въ самомъ источникѣ свѣта. Всякую молекулу или, лучше сказать, всякій атомъ, лучеиспускающій свѣтъ, можно слѣдовательно уподобить электрическому вибратору или резонатору, въ которомъ и происходятъ колебанія электричества по вполне определенному закону и съ вполне определеннымъ періодомъ, отъ котораго и зависитъ положеніе той или другой линіи спектра.

Такое уподобленіе мельчайшихъ частицъ матеріи электрическимъ резонаторамъ, которое вытекаетъ какъ непосредственное слѣдствіе наблюдаемыхъ явленій, даетъ намъ возможность приступить къ изученію свойствъ молекулъ, основываясь на совершенно новой точкѣ зрѣнія.

Такъ какъ дифференціальныя уравненія движенія электричества въ резонаторахъ извѣстны, то можно строго-математическимъ путемъ изслѣдовать свойства такихъ резонаторовъ, и, перенося затѣмъ все эти выводы на резонаторы молекулярныхъ размѣровъ, вывести уже разныя заключенія о вѣроятныхъ свойствахъ и особенностяхъ самихъ мельчайшихъ частицъ матеріи.

Мы уже говорили, что каждому такому электрическому резонатору соответствуетъ вполне определенный періодъ колебанія, т. е. соответствуетъ вполне определенная, характерная, световая волна или, что то же самое, линія спектра.

Спрашивается теперь, повліяетъ ли близость сосѣдняго молекулярнаго резонатора на періодъ перваго и наоборотъ?

Вычисленія показываютъ, что близкое сосѣдство резонаторовъ вліяетъ на ихъ періодъ, что для газообразныхъ тѣлъ должно

повлечь за собою соответствующее расширеніе, расплываніе спектральныхъ линій, что непосредственными наблюденіями дѣйствительно и подтверждается, такъ какъ, чѣмъ плотнѣе газъ, тѣмъ шире, расплывчатѣе его характерныя спектральныя линіи. Если два такихъ маленькихъ резонатора соединятся въ группу, то легко показать, что, вмѣсто одной линіи, данная сложная частица дастъ начало двумъ линіямъ спектра, относительное положеніе которыхъ зависитъ непосредственно отъ взаимнаго расположенія резонаторовъ. Если три резонатора соединятся въ группу — будутъ 3 линіи въ спектрѣ, отличныя однако отъ тѣхъ, которыя присущи этимъ резонаторамъ въ свободномъ состояніи. Вообще, чѣмъ сложнѣе составъ частицы, тѣмъ сложнѣе долженъ быть и ея спектръ. До сихъ поръ не существуетъ раціональной теоріи распределенія линій въ спектрѣ; но казалось бы, что самый правильный путь къ построенію подобной теоріи состоялъ бы въ томъ, чтобы изслѣдовать, изучать распределеніе линій въ спектрѣ въ зависимости именно отъ взаимнаго расположенія атомныхъ резонаторовъ въ молекулѣ. Эта задача представляетъ однако не мало трудностей; въ концѣ же концовъ вопросъ этотъ можетъ быть сведенъ къ рѣшенію нѣкоторыхъ болѣе или менѣе сложныхъ алгебраическихъ уравненій, коэффициенты которыхъ удовлетворяютъ нѣкоторымъ интереснымъ соотношеніямъ.

Вопросъ о распределеніи атомовъ въ молекулѣ, атомовъ въ пространствѣ, интересуется не однихъ только физиковъ. Этимъ вопросомъ занимается цѣлый новый отдѣлъ химіи, именно такъ называемая стереохимія, о которой я однако не имѣю возможности здѣсь распространяться.

Посмотримъ же теперь, не можетъ ли теорія молекулярныхъ, или, точнѣе говоря, атомныхъ электрическихъ резонаторовъ объяснить намъ и самую загадочную причину молекулярныхъ силъ? Спрашивается, существуетъ ли какое-нибудь механическое взаимодѣйствіе между двумя электрическими резонаторами?

Теорія и опытъ отвѣчаютъ на этотъ вопросъ утвердительно: взаимодѣйствія существуютъ. Почему же, слѣдовательно, не предположить, что молекулярныя силы имѣютъ чисто-электрическое

происхожденіе, что онѣ просто обусловливаются взаимодействіями молекулярныхъ резонаторовъ?

Можно дѣйствительно вычисленіемъ показать, что такіе два молекулярные резонатора должны по всей вѣроятности притягиваться съ уменьшеніемъ разстоянія быстрѣе, чѣмъ единица, дѣленная на квадратъ разстоянія между частицами, каковой взглядъ раздѣляется весьма многими физиками, такъ какъ простое ньютоновское притяженіе съ трудомъ въ состояніи объяснить намъ всю интенсивность молекулярныхъ силъ. Что молекулярныя силы дѣйствительно чрезвычайно интенсивны, иначе говоря, что молекулы на весьма близкихъ разстояніяхъ притягиваются весьма энергично, извѣстно, конечно, всякому. Громадное сопротивленіе, которое твердыя тѣла представляютъ разрыву, объясняется просто силой сѣпленія молекулъ. Такъ, стальная проволока въ 1 кв. мм. сѣченія можетъ выдержать до 80 килограммовъ нагрузки. Можно очень легко даже произвести слѣдующій весьма поучительный опытъ, который я за недостаткомъ времени не рѣшился воспроизвести предъ вами, но который всякій легко можетъ продѣлать. Возьмите свинцовый брусокъ, примѣрно въ 1 кв. см. сѣченія, разрѣжьте его пополамъ, стамеской или ножикомъ счистите нѣсколько поверхность разрѣза и сложите оба конца опять вмѣстѣ, слегка надавливая и закручивая брусокъ, чтобы привести частицы въ болѣе близкое взаимное разстояніе. Вы легко достигнете того, что такой сложенный изъ двухъ отдѣльныхъ частей брусокъ будетъ въ состояніи выдержать грузъ въ 20, 30 и болѣе килограммъ.

Теорія молекулярныхъ электрическихъ резонаторовъ приводитъ насъ и къ слѣдующему, не лишнему нѣкотораго интереса результату. Можно вычисленіемъ показать, что, при соблюденіи одного условія, касательно распредѣленія начальныхъ электрическихъ зарядовъ атомовъ, молекулярныя электрическія силы, при весьма малыхъ разстояніяхъ частицъ, изъ притягательныхъ переходятъ въ отталкивательныя, т. е., иными словами, выражаютъ то именно физическое свойство тѣлъ, которое мы называемъ упругостью. Итакъ, это столь непонятное свойство мельчайшихъ, недѣлимыхъ частицъ матеріи является на почвѣ этой электрической теоріи

лишь простымъ слѣдствіемъ нѣкоторыхъ характерныхъ особенностей молекулярныхъ электрическихъ силъ.

Этимъ краткимъ обзоромъ различныхъ свойствъ и особенностей мельчайшихъ частицъ матеріи я и долженъ ограничиться. Боюсь, что я и безъ того уже злоупотребилъ вашимъ вниманіемъ. Нельзя однако думать, что мы хоть сколько-нибудь исчерпали этотъ сложный и любопытный вопросъ. Есть еще цѣлый рядъ явленій, которыя также непосредственно зависятъ отъ характерныхъ движеній мельчайшихъ частицъ матеріи. Укажу, на примѣръ, на явленія электрической проводимости растворовъ, гдѣ мы имѣемъ дѣло съ движеніемъ нѣкоторыхъ группъ атомовъ, называемыхъ іонами, заряженныхъ положительнымъ или отрицательнымъ электричествомъ и движущихся отъ одного электрода къ другому. Далѣе укажу на любопытныя свойства растворовъ, на такъ называемое осмотическое давленіе, на явленія, которыя также зависятъ отъ движеній мельчайшихъ частицъ матеріи и которыя находятся въ весьма тѣсной связи съ кинетической теоріей газовъ. Оказывается, что движенія частицъ соли въ растворителѣ подчиняются законамъ, вполне аналогичнымъ тѣмъ, которые управляютъ движеніями частицъ газообразныхъ тѣлъ.

Упомянемъ еще о нѣкоторыхъ крайне изящныхъ, но чрезвычайно сложныхъ явленіяхъ, именно о явленіяхъ, наблюдаемыхъ при прохожденіи электрическаго тока чрезъ трубки, наполненныя различными газами, но разрѣженныя до миллионныхъ долей атмосферы, т. е. на явленія, наблюдаемыя въ такъ называемыхъ трубкахъ Крукса. Въ этихъ трубкахъ наблюдаются весьма любопытныя, свѣтовые эффекты, именно особенное характерное излученіе, исходящее изъ отрицательнаго электрода. Этимъ своеобразнымъ лучамъ присвоено названіе катодныхъ лучей. Катодные лучи способны заставить стекло флуоресцировать, вызвать сильное нагрѣваніе; ими можно, на примѣръ, расплавить такой тугоплавкій металлъ, какъ иридию платину. Катодные лучи производятъ кромѣ того, и чисто механическія дѣйствія; они могутъ заставить вращаться, на подобіе водяной мельницы, колесико съ лопатками, помѣщенное въ разрѣ-

женномъ пространствѣ Круксовой трубки. По мнѣнію многихъ физиковъ всѣ эти необычайно странныя явленія, объясняются непосредственно движеніями мельчайшихъ частицъ матеріи, каковыя движенія будутъ особенно свободны, въ виду значительности разрѣженія газа въ Круксовыхъ трубкахъ.

Въ заключеніе бросимъ еще разъ бѣглый взглядъ на только что здѣсь изложенное.

Приступая къ темѣ настоящаго сообщенія, къ вопросу о свойствахъ мельчайшихъ частицъ матеріи, намъ могло показаться, что мы находимся какъ бы на границѣ, на рубежѣ знанія, и что весь этотъ молекулярный міръ, міръ мельчайшихъ частицъ матеріи, на вѣки закрытъ отъ нашихъ умственныхъ взоровъ; можно было думать, что нѣтъ никакой возможности проникнуть въ его тайны. На самомъ же дѣлѣ оказалось совершенно иное. Рядомъ неустанныхъ, настойчивыхъ трудовъ, имѣвшихъ различныя точки отправленія, но идущихъ всѣ въ томъ же самомъ направленіи, къ той же самой конечной цѣли, наукѣ удалось проникнуть въ этотъ невѣдомый, загадочный міръ и подмѣтить нѣкоторыя его сокровенныя тайны. Удалось не только сосчитать, измѣрить, взвѣсить молекулы и атомы, но и опредѣлить самыя скорости ихъ движенія, характерныя свойства и пр. Конечно, все то, что мы знаемъ теперь о свойствахъ молекулъ, весьма еще ничтожно, но важно здѣсь не количество добытыхъ результатовъ, да они и не успѣли еще накопиться, такъ какъ это дѣло сравнительно новое, важенъ здѣсь тотъ общій, знаменательный фактъ, что, несмотря на всѣ видимо непреодолимые препятствія, пытливому человѣческому уму удалось таки проникнуть въ этотъ невѣдомый, недоступный міръ. И всѣ эти усилія увѣнчались въ общемъ полнымъ успѣхомъ, и наградой имъ была та чудесная картина изящества и единства плана строенія всей вселенной, которая при этомъ открылась. Какъ небесныя тѣла, такъ и мельчайшія частицы матеріи, движутся непрестанно, сочетаются въ болѣе сложныя группы, видоизмѣняются и пр.; во всѣхъ этихъ явленіяхъ видна одна общая, руководящая мысль, видна какъ бы скрытая гармонія между самыми разнообразными явленіями природы. Если изученіе небесныхъ

тѣлъ болѣе доступно непосредственному пониманію, а созерцаніе ихъ непосредственному чувству, то за то изученіе свойствъ атомовъ и молекулъ даетъ намъ возможность заглянуть въ болѣе глубокія тайны природы, такъ какъ въ концѣ концовъ всѣ внѣшнія явленія матеріальнаго міра зависятъ въ дѣйствительности непосредственно отъ взаимодействій мельчайшихъ частицъ матеріи. Мы, конечно, еще очень далеки отъ того, чтобы быть въ состояніи на основаніи законовъ движеній и взаимодействій молекулъ построить раціональную теорію всѣхъ физическихъ явленій, но всѣ изслѣдованія, подобныя здѣсь очерченнымъ, имѣютъ то несомнѣнное значеніе, что они содѣйствуютъ достиженію конечной цѣли физики, которая состоитъ именно въ томъ, чтобы свести разсматриваемые ею вопросы къ вопросамъ раціональной механики, т. е. къ двумъ основнымъ принципамъ, къ двумъ основнымъ началамъ, лежащимъ въ основаніи всѣхъ явленій внѣшняго физическаго міра, именно къ основнымъ понятіямъ о матеріи и движеніи.

